

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-016816
 (43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl. H01L 21/027
 G03F 7/20

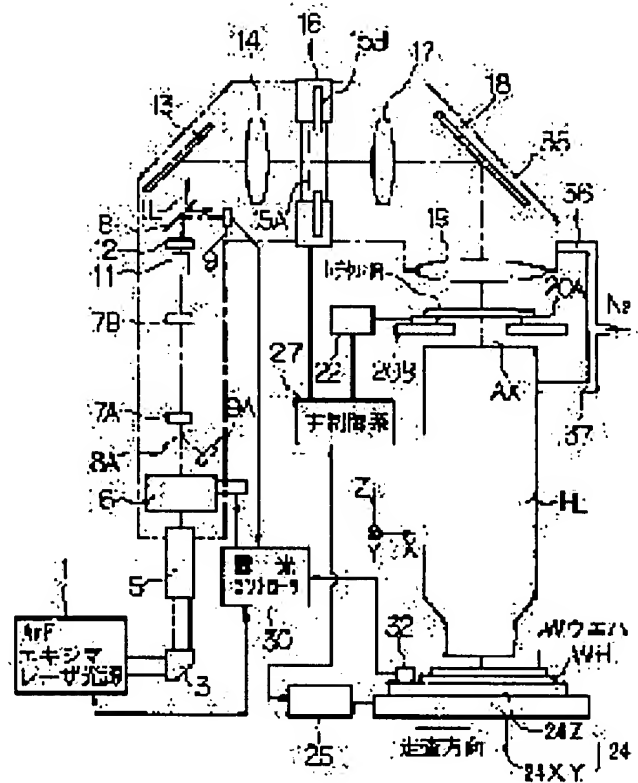
(21)Application number : 09-168406 (71) NIKON CORP
 (22)Date of filing : 25.06.1997 Applicant :
 (72)Inventor : TANAKA YASUAKI

(54) PROJECTION ALIGNER, METHOD FOR EXPOSURE WITH THE DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING CIRCUIT DEVICE USING THE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection aligner wherein a control precision for exposure value is prevented from degrading, which is caused by irradiation fluctuation (or pulse energy fluctuation) on a substrate which is generated by transmittance fluctuation of a projection optical system.

SOLUTION: The light quantity of ultraviolet pulse light IL incident on a projection optical system PL is measured through an integrator sensor 9, the light quantity or the ultraviolet pulse light IL transmitting the projection optical system PL is measured through an irradiation amount monitor 32, and the amount of transmission light is divided by an incident light amount, thus calculating the transmittance of the projection optical system PL. With the transmittance obtained as a function of an integration value of the incident light quantity, the integration value of the incident light quantity measured through the integrator sensor 9 is substituted for the function at exposure to estimate the transmittance of the projection optical system PL, and, according to the transmittance, the output of, for example, an excimer laser light source 1 is controlled for controlling an exposure value.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-16816

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 6 D

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 0 2 G

5 1 6 C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平9-168406

(22) 出願日

平成9年(1997) 6月25日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 田中 康明

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

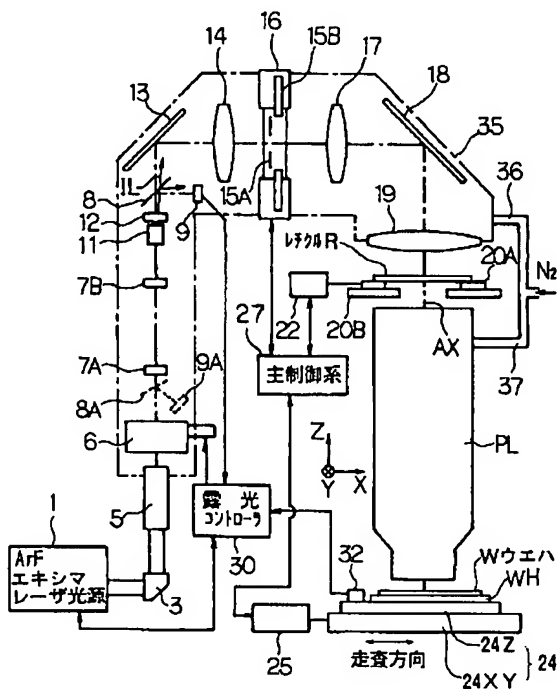
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影露光装置、該装置を用いた露光方法、及び該装置を用いた回路デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止した投影露光装置を提供する。

【解決手段】 投影光学系 P L に入射する紫外パルス光 I L の光量をインテグレータセンサ 9 を介して計測し、投影光学系 P L を透過した紫外パルス光 I L の光量を照射量モニタ 3 2 を介して計測し、透過光量を入射光量で除算することによって投影光学系 P L の透過率を算出する。この透過率を入射光量の積分値の関数として求めておき、露光時にはその関数にインテグレータセンサ 9 を介して計測される入射光量の積分値を代入して投影光学系 P L の透過率を推定し、この透過率に応じて例えばエキシマレーザ光源 1 の出力を制御することで露光量を制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスクに形成されたパターンを紫外域の所定の露光エネルギービームで照射する照射系と、前記マスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、を備えた投影露光装置において、前記投影光学系に対する入射エネルギー量を計測する入射エネルギー量計測系と、該入射エネルギー量計測系の計測値を積算して前記投影光学系に対する総入射エネルギー量を求める入射エネルギー量積算系と、前記投影光学系からの射出エネルギー量を計測する射出エネルギー量計測系と、前記入射エネルギー量計測系、前記入射エネルギー量積算系、及び前記射出エネルギー量計測系の計測結果に基づいて算出される前記投影光学系の透過率の前記総入射エネルギー量に対する変化率を記憶する透過率特性記憶部と、該透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び前記入射エネルギー量積算系の出力に基づいて逐次前記投影光学系の透過率を算出する演算系と、該演算系によって算出される透過率に応じて前記照射系から前記投影光学系を介して前記基板上に照射される前記露光エネルギービームの露光量を制御する露光量制御系と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の投影露光装置であって、前記透過率特性記憶部は、前記投影光学系の透過率の前記総入射エネルギー量に対する変化率の他に、前記露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対する前記投影光学系の透過率の変化率を記憶し、前記演算系は、前記透過率特性記憶部に記憶されている透過率の 2 種類の変化率、前記入射エネルギー量積算系の出力、及び前記露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次前記投影光学系の透過率を算出することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 3】 請求項 1、又は 2 記載の投影露光装置であって、前記マスク及び前記基板をそれぞれ移動するステージ系を備え、露光時に前記ステージ系を介して前記マスク及び前記基板を前記投影光学系に対して相対的に同期走査することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】 請求項 3 記載の投影露光装置を用いた露光方法であって、前記投影光学系の透過率を計測する際に、前記ステージ系を介して実際の露光時と同様に前記マスクを前記投影光学系に対して走査しながら、前記入射エネルギー量計測系、及び前記射出エネルギー量計測系による計測値を取り込み、該取り込まれた計測値を前記マスクのパターン存在率で補正することによって前記投影光学系の透過率を算出し、前記基板に対する露光時に、前記マスクのパターン存在

率で補正して得られる透過率に基づいて前記基板に対する前記露光エネルギービームの露光量を制御することを特徴とする露光方法。

【請求項 5】 請求項 1、2、又は 3 記載の投影露光装置を用いて所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、前記基板上に感光材料を塗布する第 1 工程と、前記透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び前記入射エネルギー量積算系の出力に基づいて前記演算系を介して逐次前記投影光学系の透過率を算出し、該算出される透過率に応じて前記露光量制御系によって前記照射系から前記投影光学系を介して前記基板上に照射される前記露光エネルギービームの露光量を制御しながら、前記マスクのパターン像を前記基板上の各ショット領域に露光する第 2 工程と、前記基板の現像を行う第 3 工程と、該現像後の前記基板上の各ショット領域にそれぞれ回路パターンを形成する第 4 工程と、を有することを特徴とする回路デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを投影光学系を介して基板上に転写するために使用される投影露光装置、この投影露光装置を用いた露光方法、及びこの投影露光装置を用いた回路デバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの集積度及び微細度の向上に対応するため、半導体デバイスを製造するためのリソグラフィ工程（代表的にはレジスト塗布工程、露光工程、及びレジスト現像工程からなる）を担う露光装置においては、解像力、及び転写忠実度等をより高めることが要求されている。このように解像力、及び転写忠実度を高めるためには、先ず基板としてのウエハ上に塗布されたレジストを適正露光量で露光するための露光量制御を高精度に行う必要がある。

【0003】現在、半導体デバイスの製造現場では、主に水銀放電灯の輝線のうち波長 365nm の i 線を露光用の照明光として、レチクルからウエハへの投影倍率が 1/5 倍の縮小投影光学系を用いたステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（ステッパー）が多用されている。また、ここ数年の動向として、ウエハ上に形成される回路デバイスのサイズ（チップサイズ）の大型化に伴って縮小投影光学系の投影視野が極端に大きくなるのを避けるために、その投影光学系の物体面側の視野内でレチクルを所定方向に等速走査しつつ、その投影光学系の像面側の視野内でウエハを対応する方向に縮小倍率と同じ速度比で等速走査することで、レチクルの回路パターンの全体像をウエハ上の各領域に走査露光する

ステップ・アンド・スキャン方式の縮小投影露光装置も注目されている。

【0004】従来の露光量制御では、投影光学系の露光用の照明光に対する透過率は短時間には変動しないものとして、例えば露光直前の或る時点で計測した投影光学系の透過率を用いて、照明光学系内で分岐された照明光の光量とその透過率とからウエハの表面での露光量を計算していた。そして、ステッパーであれば、その計算される露光量の積算値が所定値となるように露光時間を制御し、ステップ・アンド・スキャン方式であれば、その計算される露光量が一定の値になるように光源の出力、又は走査速度を制御していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】最近では、露光波長を短波長化して解像力をより高めるために、露光用の照明光としてエキシマレーザ光源からの波長250nm程度以下の紫外パルス光を用いたステップ・アンド・リピート方式、及びステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が開発され、波長248nmのKrFエキシマレーザ光源を使用した投影露光装置は製造ラインに本格的に投入され始めている。更に、より短波長の波長193nmの紫外パルス光を出力するArFエキシマレーザ光源も開発されており、これは今後の露光用光源として有望視されている。

【0006】このArFエキシマレーザ光源を露光光源として用いる場合、その紫外パルス光の自然発振状態での波長帯域内には酸素の吸収帯が幾つか存在するため、パルス光の波長特性をそれらの吸収帯を避けた波長に狭帯化することが必要となる。更に、露光光源からレチクルまでの照明光路内やレチクルからウエハまでの投影光路内に極力酸素が含まれないような環境にすること、即ちそれらの照明光路や投影光路の大部分を不活性ガス（窒素ガスやヘリウムガス等）で置換することも必要となる。そのようなArFエキシマレーザ光源を用いた投影露光装置の一例は、例えば特開平6-260385号公報、特開平6-260386号公報に開示されている。

【0007】以上のようなエキシマレーザ光源からの紫外パルス光（波長250nm程度以下）に対して所望の透過率を有する実用的な光学硝材としては、現在の所、石英(SiO₂)とホタル石(螢石:CaF₂)との2つが知られているだけである。もちろん、その他にフッ化マグネシウムやフッ化リチウム等も知られているが、投影露光装置用の光学硝材とするためには、加工性の問題、耐久性の問題等を解決しておく必要がある。

【0008】これに関して、投影露光装置に搭載される投影光学系としては、ジオプトリック系（屈折系）の他に、屈折光学素子（レンズ素子）と反射光学素子（特に凹面鏡）との組み合わせで構成したカタジオプトリック系（反射屈折系）も使用されている。何れのタイプの投

影光学系を採用するにしても、屈折光学素子（透過性光学素子）を使うことには変わりなく、現時点では屈折光学素子として石英とホタル石との2種類の硝材を使わざるを得ない。更に屈折光学素子にしる反射光学素子にしる、その表面には反射防止膜や保護層等の多層膜が蒸着され、光学素子単体としての性能が所定の状態になるように製造されている。ここで特に注目すべき性能は、レンズ素子単体の透過率の絶対値、あるいは反射光学素子単体の反射率の絶対値がどの程度大きく取れるかである。

【0009】例えばレンズ素子単体の場合、一般に光の入射面と射出面との2面の両方に反射防止膜等をコートし、極力透過率を高めるように工夫されている。投影光学系のように精密な結像光学系においては、各種の収差特性を良好に補正するために使用するレンズ素子が20〜30枚と多く、各レンズ素子の透過率が100%より僅かに低いだけで投影光学系全体の透過率はかなり小さくなる。また、幾つかの反射光学素子を含む投影光学系でも、各反射光学素子の反射率が低いときには投影光学系全体の透過率も低くなる。

【0010】例えば、投影光学系の結像光路を構成するレンズ素子が25枚の場合、それらレンズ素子の個々の透過率を96%とすると、投影光学系全体としての透過率 ε は約36% ($\varepsilon = 0.96^{25} \times 100$) とかなり小さくなる。投影光学系の透過率が低い場合に、レチクルの回路パターン像をウエハ上に露光するための照明光の強度（エネルギー）の増大を図るか、又はより感度の高い紫外線用レジストを使用するか対策を取らないと、露光時間の増大によってスループットが低下する。そこで、投影露光装置側で実現可能な対策として、より高出力なエキシマレーザ光源を用意することが考えられる。

【0011】ところが、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験をしたところ、紫外波長域の照明光（KrFエキシマレーザ光、又はArFエキシマレーザ光等）の照射によって、短時間の間に投影光学系内の光学素子、あるいは光学素子のコート材（例えば反射防止膜等の薄膜）の透過率がダイナミックに変動するといった新たな現象が発見された。この現象は、投影光学系内の光学素子のみならず、レチクルを照明する照明光学系内の光学素子や、レチクル（石英板）自体についても全く同様に発生し得ることが分かってきた。

【0012】そのような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体（空気、窒素ガス等）中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤等から発生する有機物質の分子、或いはその鏡筒の内壁（反射防止用の塗装面等）から発生する不純物（例えば水分子、炭化水素の分子、又はこれら以外の照明光を拡散する物質）が光学素子の表面に付着したり照明光路内に進入（浮遊）することで起こるものと考えられてい

る。その結果、投影光学系の透過率や照明光学系の透過率が比較的大きく変動するといった不都合が生じる。

【0013】例えば上記のレンズ素子が25枚で透過率 ε が約36%の投影光学系で、レンズ素子単体の透過率が仮に一律に1%だけ低下したとすると、投影光学系全体の透過率 ε は約27.7% ($\approx 0.95^{25} \times 100$) に低下してしまう。このような透過率の変動は、ウエハ上に与えるべき露光量を適正值から異ならせ、ウエハ上に転写される設計線幅0.25~0.18 μm 程度の微細パターンの転写忠実度を劣化させる恐れがある。従来の投影露光装置では、例えば特開平2-135723号公報に開示されているように、照明光学系の光路内の所定の位置で照明光の光強度を検出し、その光強度に基づいて適正露光量が得られるようにエキシマレーザ光源からのパルス光の強度(1パルス当たりのエネルギー)を調整している。このため従来の投影露光装置では、露光量制御のために照明光の強度を検出している照明光路内の部分以降の照明光学系や投影光学系の透過率変動が全く加味されず、正確な露光量制御ができなくなる恐れがあった。

【0014】また、投影光学系に対する紫外パルス光の照射を停止した場合には、次第にその投影光学系の透過率が回復(変動)するという現象も見いだされている。このような場合に、再び紫外パルス光の照射を開始して露光を再開すると、投影光学系の透過率が変動しているため、正確な露光量制御が困難になる恐れがある。本発明は斯かる点に鑑み、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動(又はパルスエネルギー変動)に起因した露光量の制御精度の劣化を防止した投影露光装置を提供することを第1の目的とする。

【0015】更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて良好な露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第2の目的とする。更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて高い転写忠実度で回路パターンを基板上に形成できる回路デバイスの製造方法を提供することを第3の目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、マスク(R)に形成されたパターンを紫外域の所定の露光エネルギービームで照射する照射系(1~19)と、そのマスクのパターンの像を基板(W)上に投影する投影光学系(PL)と、を備えた投影露光装置において、投影光学系(PL)に対する入射エネルギー量を計測する入射エネルギー量計測系(9)と、この入射エネルギー量計測系の計測値を積算してその投影光学系に対する総入射エネルギー量を求める入射エネルギー量積算系(64)と、その投影光学系からの射出エネルギー量を計測する射出エネルギー量計測系(32)と、入射エネルギー量計測系(9)、入射エネルギー量積算系(64)、及び射出エネルギー量計測系(32)の計測

結果に基づいて算出されるその投影光学系の透過率のその総入射エネルギー量に対する変化率を記憶する透過率特性記憶部(68)と、この透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び入射エネルギー量積算系(64)の出力に基づいて逐次その投影光学系の透過率を算出する演算系(67)と、この演算系によって算出される透過率に応じてその照射系からその投影光学系を介してその基板上に照射されるその露光エネルギービームの露光量を制御する露光量制御系(1, 69; 22, 25, 27)と、を設けたものである。

【0017】斯かる本発明によれば、予め露光エネルギービームの総入射エネルギーに対して投影光学系の透過率変化を計測して記憶しておき、実際の露光時には露光開始、即ち露光エネルギービームの照射開始時から投影光学系に入射するエネルギーを計測しつつ、先に記憶しておいた透過率変化に当てはめることによって、ほぼリアルタイムで高精度に投影光学系の透過率が推定できる。その透過率の変化を相殺するように露光量を制御することによって、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動(又はパルスエネルギー変動)に起因した露光量の制御精度の劣化が防止できる。

【0018】この場合、透過率特性記憶部(68)は、その投影光学系の透過率のその総入射エネルギー量に対する変化率の他に、その露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対するその投影光学系の透過率の変化率を記憶し、演算系(67)は、透過率特性記憶部(68)に記憶されている透過率の2種類の变化率、入射エネルギー量積算系(9)の出力、及びその露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次その投影光学系の透過率を算出することが望ましい。これによって、露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の透過率がすぐに十分回復しない場合でも、高精度に投影光学系の透過率の変化を推定できる。

【0019】また、マスク及び基板をそれぞれ移動するステージ系(20A, 20B, 24)を備え、露光時にそのステージ系を介してそのマスク及びその基板をその投影光学系に対して相対的に同期走査してもよい。これは本発明を走査露光方式の投影露光装置に適用したことを意味する。この場合、露光量を制御するためには、露光光源の出力を制御する他に、走査速度を制御してもよい。

【0020】また、本発明の露光方法は、その投影露光装置を用いた露光方法であって、その投影光学系の透過率を計測する際に、そのステージ系を介して実際の露光時と同様にそのマスクをその投影光学系に対して走査しながら、入射エネルギー量計測系(9)、及び射出エネルギー量計測系(32)による計測値を取り込み、このように取り込まれた計測値をそのマスクのパターン存在率(又はパターン透過率)で補正することによってその投影光学系の透過率を算出し、その基板に対する露光時

に、そのマスクのパターン存在率で補正して得られる透過率に基づいてその基板に対するその露光エネルギービームの露光量を制御することが望ましい。これによって、マスクのパターン存在率（パターン透過率）の影響で投影光学系の透過率が誤計測されることが防止される。

【0021】また、本発明の回路デバイスの製造方法は、本発明の投影露光装置を用いて所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、その基板上に感光材料を塗布する第1工程（ステップ173）と、透過率特性記憶部（68）に記憶されている透過率の変化率、及び入射エネルギー量積算系（9）の出力に基づいて演算系（68）を介して逐次その投影光学系の透過率を算出し、このように算出される透過率に応じてその露光量制御系によってその照射系からその投影光学系を介してその基板上に照射されるその露光エネルギービームの露光量を制御しながら、そのマスクのパターン像をその基板上の各ショット領域に露光する第2工程（ステップ174）と、その基板の現像を行う第3工程（ステップ175）と、この現像後のその基板上の各

ショット領域にそれぞれ回路パターンを形成する第4工程（ステップ176）と、を有するものである。この場合、露光工程で適正な露光量が得られるため、回路パターンの転写忠実度が向上する。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図面を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、ArFエキシマレーザ光源1からの波長193nmで狭帯化された露光光としての紫外パルス光1Lは、露光装置本体との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）3を通り、遮光性のパイプ5を介して光アッテネータとしての可変減光器6に入射する。ウエハ上のレジストに対する露光量を制御するための露光制御ユニット30が、ArFエキシマレーザ光源1の発光の開始及び停止、並びに発振周波数、及びパルスエネルギーで定まる出力を制御すると共に、可変減光器6における紫外パルス光に対する減光率を段階的、又は連続的に調整する。なお、露光光としては、波長248nmのKrFエキシマレーザ光、又はその他の波長250nm程度以下のレーザ光等を使用する場合にも本発明が適用される。

【0023】可変減光器6を通った紫外パルス光1Lは、所定の光軸に沿って配置されるレンズ系7A、7Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ11に入射する。このように、本例ではフライアイレンズ11は1段であるが、照度分布均一性を高めるために、例えば特開平1-235289号公報に開示されているよ

うに、フライアイレンズを直列に2段配置するようにしてもよい。フライアイレンズ11の射出面には照明系の開口絞り系12が配置されている。開口絞り系12には、通常照明用の円形の開口絞り、複数の偏心した小開口よりなる変形照明用の開口絞り、輪帯照明用の開口絞り等が切り換え自在に配置されている。フライアイレンズ11から射出されて開口絞り系12中の所定の開口絞りを通過した紫外パルス光1Lは、透過率が高く反射率が低いビームスプリッタ8に入射する。ビームスプリッタ8で反射された紫外パルス光は、光電検出器よりなるインテグレートセンサ9に入射し、インテグレートセンサ9の検出信号は露光制御ユニット30に供給されている。

【0024】ビームスプリッタ8の透過率、及び反射率は予め高精度に計測されて、露光制御ユニット30内のメモリに記憶されており、露光制御ユニット30は、インテグレートセンサ9の検出信号より間接的に投影光学系PLに対する紫外パルス光1Lの入射光量、及びその積分値をモニタできるように構成されている。なお、投影光学系PLに対する入射光量をモニタするためには、図1中に2点鎖線で示すように、例えばレンズ系7Aの前にビームスプリッタ8Aを配置し、このビームスプリッタ8Aからの反射光を光電検出器9Aで受光し、光電検出器9Aの検出信号を露光制御ユニット30に供給するようにしてもよい。

【0025】ビームスプリッタ8を透過した紫外パルス光1Lは、コンデンサレンズ系14を経てレチクルブラインド機構16内の固定照明視野絞り（固定ブラインド）15Aに入射する。固定ブラインド15Aは、例えば特開平4-196513号公報に開示されているように、投影光学系PLの円形視野内の中央で走査露光方向と直交した方向に直線スリット状、又は矩形状（以下、まとめて「スリット状」と言う）に伸びるように配置された開口部を有する。更に、レチクルブラインド機構16内には、固定ブラインド15Aとは別に照明視野領域の走査露光方向の幅を変とするための可動ブラインド15Bが設けられ、この可動ブライント15Bによってレチクルステージの走査移動ストロークの低減、レチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。可動ブラインド15Bの開口率の情報は露光制御ユニット30にも供給され、インテグレートセンサ9の検出信号から求められる入射光量にその開口率を乗じた値が、投影光学系PLに対する実際の入射光量となる。

【0026】レチクルブラインド機構16の固定ブラインド15Aでスリット状に整形された紫外パルス光1Lは、結像用レンズ系17、反射ミラー18、及び主コンデンサレンズ系19を介して、レチクルRの回路パターン領域上で固定ブラインド15Aのスリット状の開口部と相似な照明領域を一樣な強度分布で照射する。即ち、固定ブラインド15Aの開口部、又は可動ブラインド1

5 Bの開口部の配置面は、結像用レンズ系17と主コンデンサレンズ系19との合成系によってレチクルRのパターン面とほぼ共役となっている。

【0027】紫外パルス光1Lのもとで、レチクルRの照明領域内の回路パターンの像が両側テセントリックな投影光学系PLを介して所定の投影倍率 β (β は例えば1/4, 1/5等)で、投影光学系PLの結像面に配置されたウエハW上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域のうちの1つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系PLは、ジオプトリック系(屈折系)であるが、カタジオプトリック系(反射屈折系)も使用できることは言うまでもない。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査方向(ここでは図1の紙面に平行な方向)にX軸を取り、走査方向に直交する非走査方向(ここでは図1の紙面に垂直な方向)にY軸を取って説明する。

【0028】このとき、レチクルRは、レチクルステージ20A上に吸着保持され、レチクルステージ20Aは、レチクルベース20B上にX方向に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ20A(レチクルR)の2次元的位置、及び回転角は駆動制御ユニット22内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果、及び装置全体の動作を統轄制御するコンピュータよりなる主制御系27からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット22内の駆動モータ(リニアモータやボイスコイルモータ等)は、レチクルステージ20Aの走査速度、及び位置の制御を行う。

【0029】一方、ウエハWは、ウエハホルダWHを介してZチルトステージ24Z上に吸着保持され、Zチルトステージ24Zは、投影光学系PLの像面と平行なXY平面に沿って2次元移動するXYステージ24XY上に固定され、Zチルトステージ24Z及びXYステージ24XYよりウエハステージ24が構成されている。Zチルトステージ24Zは、ウエハWのフォーカス位置(Z方向の位置)、及び傾斜角を制御してウエハWの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ24XYはウエハWのX方向への等速走査、及びX方向、Y方向へのステップングを行う。Zチルトステージ24Z(ウエハW)の2次元的位置、及び回転角は駆動制御ユニット25内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果及び主制御系27からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット25内の駆動モータ(リニアモータ等)は、XYステージ24XYの走査速度、及び位置の制御を行う。ウエハWの回転誤差は、主制御系27及び駆動制御ユニット22を介してレチクルステージ20Aを回転することで補正される。

【0030】主制御系27は、レチクルステージ20

A、及びXYステージ24XYのそれぞれの移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報を駆動制御ユニット22及び25に送る。そして、走査露光時には、レチクルステージ20Aを介して紫外パルス光1Lの照明領域に対してレチクルRが+X方向(又は-X方向)に速度V_rで走査されるのに同期して、XYステージ24XYを介してレチクルRのパターン像の露光領域に対してウエハWが-X方向(又は+X方向)に速度 $\beta \cdot V_r$ (β はレチクルRからウエハWへの投影倍率)で走査される。

【0031】また、主制御系27は、上述のレチクルブラインド機構16内に設けられている可動ブラインド16Bの各ブレードの移動を走査露光時のレチクルステージ20Aの移動と同期するための制御を行う。更に主制御系27は、ウエハW上の各ショット領域のレジストを適正露光量で走査露光するための各種露光条件を設定して、露光制御ユニット30とも連携して最適な露光シーケンスを実行する。即ち、ウエハW上の1つのショット領域への走査露光開始の指令が主制御系27から露光制御ユニット30に発せられると、露光制御ユニット30はArFエキシマレーザ光源1の発光を開始すると共に、インテグレータセンサ9を介して投影光学系PLに対する入射光量の積分値を算出する。その積分値は走査露光開始時に0にリセットされている。そして、露光制御ユニット30では、後述のようにその入射光量の積分値より投影光学系PLの透過率を逐次算出し、この透過率に応じて、走査露光後のウエハW上のレジストの各点で適正露光量が得られるように、ArFエキシマレーザ光源1の出力(発振周波数、及びパルスエネルギー)及び可変減光器6の減光率を制御する。そして、当該ショット領域への走査露光の終了時に、ArFエキシマレーザ光源1の発光が停止される。

【0032】また、本例のZチルトステージ24Z上のウエハホルダWHの近傍には光電検出器よりなる照射量モニタ32が設置され、照射量モニタ32の検出信号も露光制御ユニット30に供給されている。照射量モニタ32は、投影光学系PLによる露光領域の全体を覆う大きさの受光面を備え、XYステージ24XYを駆動してその受光面を投影光学系PLの露光領域を覆う位置に設定することで、投影光学系PLを通過した紫外パルス光1Lの光量を計測できる。本例では、インテグレータセンサ9及び照射量モニタ32の検出信号を用いて投影光学系PLの透過率を計測する。なお、照射量モニタ32の代わりに、その露光領域内での光量分布を計測するためのピンホール状の受光部を有する照度むらセンサを使用してもよい。

【0033】本例ではArFエキシマレーザ光源1を用いているため、パイプ5内から可変減光器6、レンズ系7A、7B、更にフライアイレンズ11〜主コンデンサレンズ系19までの各照明光路を外気から遮断するサブ

チャンバ 35 が設けられ、そのサブチャンバ 35 内の全体には配管 36 を通して酸素含有率を極めて低く抑えた乾燥窒素ガス (N_2) が供給される。同様に、投影光学系 PL の鏡筒内部の空間 (複数のレンズ素子間の空間) の全体にも配管 37 を介して乾燥窒素ガスが供給される。

【0034】その乾燥窒素ガスの供給は、サブチャンバ 35 や投影光学系 PL の鏡筒の気密性が高い場合は、一度大気との完全な置換が行われた後はそれ程頻繁に行う必要はない。しかしながら、光路内に存在する各種の物質 (硝材、コート材、接着剤、塗料、金属、セラミックス等) から生じる水分子や炭化水素分子等が光学素子の表面に付着して起こる透過率変動を考慮すると、温度制御された窒素ガスを光路内で強制的にフローさせつつ、ケミカルフィルタや静電フィルタによってそれらの不純物分子を除去していくことも必要である。

【0035】次に、本例の投影露光装置における投影光学系 PL の透過率計測系につき図 2 を参照して説明する。投影光学系 PL の透過率計測を行う場合には、図 2 に示すように、XY ステージ 24 XY を駆動して照射量モニタ 32 の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定される。そして、ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始されて、ビームスプリッタ 8 に入射する紫外パルス光 IL の一部が反射されて、紫外パルス光 IL1 としてインテグレータセンサ 9 に入射する。これと共に、投影光学系 PL を通過した紫外パルス光 IL2 は、照射量モニタ 32 に入射し、インテグレータセンサ 9 の検出信号、及び照射量モニタ 32 の検出信号は並列に露光制御ユニット 30 に取り込まれる。

【0036】図 2 において、インテグレータセンサ 9 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホールド (P/H) 回路 61、及びアナログ・デジタル変換器 (以下、「ADC」と呼ぶ) 62 を介して入射エネルギー E_i として直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給されている。直接透過率計算部 63、入射光量積分部 64、及び後述の透過率演算部 67、制御部 69 は、本例ではそれぞれマイクロプロセッサによって実行されるソフトウェア上の機能を表すものであるが、それらの機能をそれぞれハードウェアで実現してもよいことは言うまでもない。

【0037】一方、照射量モニタ 32 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホールド回路 65、及び ADC 66 を介して透過エネルギー E_o として直接透過率計算部 63 に供給されている。直接透過率計算部 63 では、透過エネルギー E_o を入射エネルギー E_i で除算して投影光学系 PL の透過率 $T (=E_o/E_i)$ を算出し、算出した透過率 T を透過率演算部 67 に供給する。また、入射光量積分部 64 では、入射する紫外パルス光毎に入射エネルギー E_i を積分 (積算) して入射総エネルギー e を算出し、算出した入射総エネルギー e を透過率演算部 67 に供給する。入射総エネルギー e は、パル

ス発光の開始直前に 0 にリセットされている。透過率演算部 67 は、供給される透過率 T を供給される入射総エネルギー e の関数 (2 次以上の高次関数、又は指数関数等) $T(e)$ で近似し、この関数 $T(e)$ をメモリ 68 に格納する。そして、露光時に透過率演算部 67 は、入射光量積分部 64 から供給される入射総エネルギー e をそのメモリ 68 から読み出された関数 $T(e)$ に代入することによって現在の投影光学系 PL の透過率 $T(now)$ を求め、この透過率 $T(now)$ を制御部 69 に供給する。不図示であるが、制御部 69 には、ADC 62 からの入射エネルギー E_i も供給されており、制御部 69 では、その入射エネルギー E_i 、及び透過率 $T(now)$ を用いてウェハ W 上のレジストの各点での紫外パルス光の露光量が適正露光量となるように ArF エキシマレーザ光源 1 の出力、及び可変減光器 6 における減光率を制御する。

【0038】次に、本例において投影光学系 PL の透過率の変化を計測し、その計測結果に基づいて露光量制御を行いながら走査露光を行う場合の動作につき、図 3 のフローチャートを参照して説明する。その透過率の計測は、例えば投影露光装置の稼働開始時や露光動作開始時等に行われる。先ず、図 3 のステップ 101 において、図 2 に示すように、照射量モニタ 32 の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定され、固定ブラインド 15A 及び可動ブラインド 15B の総合的な開口率が 100% に設定される。この例では、投影光学系 PL に対する入射エネルギーの最大値と透過率との関係を求めるのが目的であるため、レチクル R がレチクルステージ 20A から取り外され、レチクルステージ 20A の走査も行われない。そして、ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始される。

【0039】それに続くステップ 102 において、図 2 の露光制御ユニット 30 ではインテグレータセンサ 9 及び照射量モニタ 32 の出力信号を並列に取り込むことによって、投影光学系 PL に実際に入射するエネルギーに対応する入射エネルギー E_i 、及び投影光学系 PL を実際に通過するエネルギーに対応する透過エネルギー E_o が生成される。そして、パルス発光毎に、図 2 の入射光量積分部 64 では、入射エネルギー E_i を積分してそれまでの入射総エネルギー e を算出し、直接透過率計算部 63 では透過率 $T (=E_o/E_i)$ を算出する。この動作は計測終了までパルス発光毎に連続的に実行される。なお、露光光が連続光であれば、ピークホールド回路 61、65 の代わりにサンプルホールド回路を使用して、入射光量積分部 64 では検出信号を所定のサンプリングレートで順次積算すればよく、直接透過率計算部 63 では所定の時間間隔で透過率 T を算出すればよい。

【0040】次に、ステップ 103 において、露光制御ユニット 30 内の透過率演算部 67 では、例えば 1 ショットの露光時間に対して十分短い間隔になるような計測

間隔で、各計測時点での入射総エネルギー e 、及び透過率 T を取り込む。次のステップ104では、計測終了かどうかが判定されるが、計測終了時の入射総エネルギー e が1ショットの露光の間に蓄積される入射総エネルギーに対して十分大きくなるように計測時間が設定されている。計測時間は、一例として数 sec ～数10 sec である。そして、ステップ103の透過率演算部67による計測データの取り込み動作（計算動作）を所定の計測間隔で繰り返して、所定の計測時間が経過した後、動作はステップ104からステップ105に移行して、透過率演算部67では、一連の入射総エネルギー e の関数として投影光学系 PL の透過率 $T(e)$ を求めてメモリ68に格納する。これは、入射エネルギー E_i に対する投影光学系 PL の透過率変化の状態を記憶するのと同値である。その透過率の関数 $T(e)$ は走査露光中のステップ109で使用される。

【0041】その後、走査露光を行う場合、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置ではステップ・アンド・リピート方式とは異なり、露光量制御を走査速度と露光光源の光量制御（可変減光器6の減光率制御を含む）との両方を用いて行うことが行われる。即ち、ウエハ上の1点について考えると、その点が投影光学系 PL によるスリット状の露光領域を通過する時間中に、レジスト感度等から定まる所定の露光量がその点に対して照射されるようにウエハステージ24の走査速度及び露光光源の光量を制御する。

【0042】ここで、 ArF エキシマレーザ光源1の単位時間当たりの出力（即ち、発振周波数×パルスエネルギー）の基準値を E_0 [W] とする。更に、以下ではその出力は可変減光器6での減光率を乗じた値とする。そして、投影光学系 PL の初期透過率を T_0 、スリット状の露光領域の面積を S [cm^2]、その露光領域の走査方向の長さを L [mm]、レジスト感度を I [J/cm^2] とすると、走査露光時のウエハステージ24の走査速度の初期値 V_{w0} [mm/sec] は、次のようになる。

$$V_{w0} = (L \cdot E_0 \cdot T_0) / (I \cdot S) \quad (1)$$

走査露光開始直後には、ウエハステージ24がその走査速度となるように、レチクル R とウエハ W との相対的な位置関係を維持しつつ走査が行われる。即ち、走査露光が開始されると、図3のステップ106において、図1に示すようにレチクルステージ20A上にレチクル R が載置され、ウエハステージ24上のウエハホルダ WH にレジストが塗布されたウエハ W がロードされる。そして、露光制御ユニット30内で入射総エネルギー e が0にリセットされた後、レチクルステージ20A及びウエハステージ24の走査が開始され、走査の同期が取られた時点で ArF エキシマレーザ光源1のパルス発光が開始され、インテグレータセンサ9の検出信号の露光制御

ユニット30への取り込みも開始される。その後、次第に可動ブラインド15Bが開いてレチクル R のパターン像のウエハ W 上の当該ショット領域への転写が開始される。固定ブラインド15A、及び可動ブラインド15Bの総合的な開口率の情報は、図2の入射光量積分部64に供給されている。

【0044】そして、ステップ107において、パルス発光毎に図2のインテグレータセンサ9、ピークホールド回路61、及び ADC 62を介して入射エネルギー E_i が計測され、この入射エネルギー E_i が順次入射光量積分部64に供給される。それに続くステップ108において、入射光量積分部64では、パルス発光毎に供給される入射エネルギー E_i にそのときの開口率を乗じて得られるエネルギーを積算してそれまでの入射総エネルギー e を求め、この露光開始からの入射総エネルギー e を透過率演算部67に供給する。次のステップ109において、透過率演算部67では、メモリ68から読み出した透過率を表す関数 $T(e)$ （即ち、透過率データ）にその入射総エネルギー e を代入して、所定の時間間隔で現在の投影光学系 PL の透過率 $T(now)$ を算出し、算出した透過率 $T(now)$ を制御部69に供給する。この計算の頻度は、1ショットの露光時間に対して十分短くなるようにする。即ち、1ショットの露光時間中において、複数回にわたって投影光学系 PL の透過率計算を繰り返し、常にほぼリアルタイムで現時点での透過率を求めるようにする。

【0045】次のステップ110で、制御部69は、供給された透過率 $T(now)$ に基づいて紫外パルス光 IL の出力を制御する。ここでは、ウエハステージ24の走査速度 V_w を（1）式の V_{w0} から変化させないものとする、ウエハ W 上の各点での露光量を一定にするためには、紫外パルス光 IL のウエハ W の表面（ウエハ面）での照度（単位時間当たり、単位面積当たりのエネルギー）を一定にすればよい。即ち、投影光学系 PL の透過率 $T(now)$ の変化を相殺するように（その透過率 $T(now)$ に反比例させて）、 ArF エキシマレーザ光源1の出力を変化させればよい。具体的に、そのようにして求めた或る時点 t における投影光学系 PL の透過率 $T(now)$ の値を T_t 、投影光学系 PL の初期透過率を T_0 、 ArF エキシマレーザ光源1の出力の基準値（初期値）を E_0 として、ウエハ面での紫外パルス光 IL の照度を一定にするための ArF エキシマレーザ光源1の目標出力を E_t とすると、 E_t は以下のように求められる。

$$E_t = E_0 \times (T_0 / T_t) \quad (2)$$

そこで、制御部69は、可変減光器6を通過する紫外パルス光 IL の出力が（2）式より求めた目標出力 E_t となるように、 ArF エキシマレーザ光源1の出力（発振周波数、及びパルスエネルギー）、又は可変減光器6での減光率を制御する。次に、ステップ111で走査露光

が終了していないときには、動作は再びステップ 107 ~ 110 に戻って所定の時間間隔で投影光学系 PL の透過率の計算、紫外パルス光 IL の目標出力 E_t の計算、及び A r F エキシマレーザ光源 1 の出力制御が行われる。そして、走査露光が終了したときには、動作はステップ 111 からステップ 112 に移行して、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光が停止され、1 ショット分の露光が終了した後（ステップ 113）、次のショット領域への露光動作が開始される（ステップ 114）。次のショット領域の露光開始時には、投影光学系 PL の透過率はステップ 106 での初期透過率にほぼ回復しているものとして透過率の計算が開始される。

【0047】このように本例によれば、インテグレートセンサ 9 を介して計測される投影光学系 PL への入射エネルギーの積分値に基づいて投影光学系 PL の透過率をほぼリアルタイムで計測し、この計測結果に基づいてウエハ面での紫外パルス光 IL の照度が一定になるように A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を制御しているため、投影光学系 PL の透過率が変化する場合でもウエハ W 上の各ショット領域の全面を適正露光量で露光できる。

【0048】なお、上述の実施の形態では、投影光学系 PL の透過率に応じて A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を制御しているが、(1) 式より分かるように、露光光源の出力 E_o が一定であれば、投影光学系 PL の透過率 T_o とウエハステージ 24 の走査速度 V_{w0} とは比例する関係にある。そこで、投影光学系 PL の透過率 T

(now) が変化した場合には、露光光源の出力を一定にしておいて、透過率 T (now) に比例してウエハステージ 24 の走査速度を制御してもよい。但し、この制御は、走査速度がステージ系で定まる上限に達しない範囲で行うことができる。

【0049】次に、本発明の第 2 の実施の形態につき説明する。本例でも図 1 の投影露光装置を使用するが、投影光学系 PL の透過率の変化の計測方法が異なっている。そこで、本例における投影光学系 PL の透過率の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図 4 のフローチャートを参照して説明する。本例では投影光学系 PL の透過率変化を計測する際に、実際に露光するレチクル R を使用してこれを実際の露光時と同様に走査させる。この計測の際の図 1 のレチクルステージ 20 A (レチクル R) の走査速度を V_m 、A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を E 。として、それらの実際の走査露光時の走査速度を V_e 、出力を E 。とすると、これらの間には以下の関係が成り立つようになる。

$$【0050】 V_m / E_m = V_e / E_e \quad (3)$$

即ち、走査開始から或る任意の位置までレチクル R を走査する間に投影光学系 PL に入射する総光量が、計測時と走査露光時とで同一になるようにする。当然ながら、 $V_m = V_e$ となるのが望ましい。なお、この計測の際、

図 2 の投影光学系 PL に実際に入射する光量は、インテグレートセンサ 9 で計測される入射エネルギー E_i にレチクル R のパターン透過率 (= 照明領域内の透過部の面積 / レチクル R 上の照明領域の面積) を掛け合わせた光量である。なお、パターン透過率は 1 からパターン存在率を差し引いた値でもあるため、このパターン存在率を使用してもよい。また、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E_o は、入射する光量にレチクル R のパターン透過率と、投影光学系 PL の透過率とを掛け合わせたものとなる。ここで、パターン透過率はレチクル R の設計データよりレチクル R の位置 X の関数として既知であり、求める対象は投影光学系 PL の透過率である。そこで、インテグレートセンサ 9 を介して計測される入射エネルギー E_i 、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E_o を用いて、レチクル R のパターン透過率を位置 X の関数 $T_R(X)$ 、投影光学系 PL の透過率を T とすれば、以下の式より投影光学系 PL の透過率 T が求まる。より正確には、そのパターン透過率の関数 $T_R(X)$ には、固定ブラインド 15 A 及び可動ブラインド 15 B の総合的な開口率が乗じられている。

【0051】

$$T = (1 / T_R(X)) \times (E_o / E_i) \quad (4)$$

そこで、先ず図 4 のステップ 121 において、図 2 に示すように、投影光学系 PL の露光領域に照射量モニタ 32 の受光面が設定され、レチクルステージ 20 A 上にレチクル R が載置され、レチクルステージ 20 A は走査開始位置に移動する。次のステップ 122 において、図 1 の主制御系 27 によって例えば不図示のホストコンピュータよりレチクル R の設計データ (レチクルデータ) が呼び出され、レチクル R の走査方向の位置 X に対応するパターン透過率 $T_R(X)$ が算出される。その後、ステップ 123 において、主制御系 27 の指令によって実際の露光時と同様にレチクルステージ 20 A (レチクル R) の走査が開始され、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光も開始される。レチクル R は + 方向、又は - X 方向に走査終了位置まで走査される。

【0052】そして、ステップ 124 で、駆動制御ユニット 22 を介して計測されたレチクルステージ 20 A の位置 X が主制御系 27 に供給され、パルス発光毎にインテグレートセンサ 9 を介して計測される入射エネルギー E_i が直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給され、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E_o が直接透過率計算部 63 に供給される。次のステップ 125 において、主制御系 27 は、レチクルステージ 20 A の位置 X よりパルス発光の周期より短い周期で現在のパターン透過率 $T_R(X)$ を算出し、算出結果を直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給する。入射光量積分部 64 では、パルス発光毎に入射エネルギー E_i にそのパターン透過率 $T_R(X)$

を乗じた値を積分（積算）して入射総エネルギー e を算出して透過率演算部 67 に供給し、直接透過率計算部 63 では、入射エネルギー E_i 、及び透過エネルギー E_o を（４）式に代入して投影光学系 PL の透過率 T を計算し、計算結果を透過率演算部 67 に供給する。次のステップ 126 で計測終了となるまで、即ちレチクル R が走査終了位置まで移動するまで、所定の時間間隔でステップ 125 の動作が繰り返され、計測が終了したときにステップ 127 に移行して、透過率演算部 67 では、投影光学系 PL の透過率 T を入射総エネルギー e の関数 $T(e)$ として求め、この関数 $T(e)$ をメモリ 68 に格納する。

【0053】その後、実際に走査露光を行う場合には、ステップ 128 において、図 3 のステップ 106 と同様に、図 1 に示すようにレチクル R 及びウエハ W の走査が開始されて、ArF エキシマレーザ光源 1 の発光が開始される。そして、ステップ 129 において、所定周期で駆動制御ユニット 22 によりレチクル R の位置 X の計測が行われ、パルス発光毎にインテグレータセンサ 9 による入射エネルギー E_i の計測が行われる。そして、レチクル R の位置 X より算出されるパターン透過率 T_R

(X) が図 2 の入射光量積分部 64 に供給され、入射光量積分部 64 は入射エネルギー E_i にそのパターン透過率 $T_R(X)$ を乗じた値を積分して入射総エネルギー e を計算し、計算結果を透過率演算部 67 に供給する。ステップ 130 において、透過率演算部 67 では、ステップ 127 でメモリ 68 に記憶された関数 $T(e)$ にその入射総エネルギー e を代入して現在の投影光学系 PL の透過率 $T(now)$ を算出し、算出結果を制御部 69 に供給する。そして、制御部 69 では、ステップ 131 において、ステップ 110 と同様に投影光学系 PL の透過率の変動を相殺してウエハ W 上での紫外パルス光 IL の照度が一定となるように、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力、又は可変減光器 6 の減光率を制御する。その後のステップ 132～135 はステップ 111～114 と同様であり、当該ショット領域への走査露光、及び次のショット領域への露光準備が行われる。

【0054】この例によれば、レチクルのパターン透過率も考慮しているため、実際の走査露光時の投影光学系 PL の透過率の変動をより高精度に検出できる。従って、露光量の制御精度も向上している。なお、上記の例では透過率計測時にはレチクル R は任意の方向に走査されるものとしているが、走査方向によって投影光学系 PL の透過率を表す関数 $T(e)$ の形が微妙に変化する恐れもある。そこで、走査方向毎にその関数 $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$ を求めておき、走査露光時には走査方向に応じてその関数 $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$ を使い分けるようにしてもよい。これによって、レチクルのパターン透過率が対称でない場合や、レチクルの基板自体の透過率が対称でない場合等にも、高精度に露光量制御が行われ

る。

【0055】次に、本発明の第 3 の実施の形態につき説明する。本例でも図 1 の投影露光装置を使用するが、本例では紫外パルス光 IL の照射停止後の投影光学系 PL の透過率の変動をも計測する。即ち、上記の第 1 及び第 2 の実施の形態においては、投影光学系 PL の透過率が紫外パルス光 IL の照射停止後に直ちに初期の状態に戻るという前提で、単純に 1 回の走査露光毎の照射のみ考慮して投影光学系 PL の透過率の変化を求めていた。しかし、紫外パルス光 IL の照射停止後の回復速度によっては或るショットの露光終了後、次のショットの露光開始までに透過率が初期状態まで十分回復しないことがあり得る。特に、低感度レジストが使用されている場合には、大きな露光量を必要とするために透過率の変化が大きくなって、ショット間で透過率が初期状態まで回復しにくくなり、投影露光装置のスループットの向上を図るためにショット間のステッピング時間等を短縮する場合にも、ショット間での透過率の回復が不十分となる恐れがあるため、紫外パルス光 IL の照射停止後の透過率変動を考慮する必要がある。

【0056】そこで、本例における投影光学系 PL の透過率の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図 5 のフローチャートを参照して説明する。本例では、先ず図 5 のステップ 141～145 において、第 1 の実施の形態のステップ 101～105 と同様に（第 2 の実施の形態のステップ 121～127 と同様でもよい）、紫外パルス光 IL の照射中の投影光学系 PL の透過率の変化を計測し、入射総エネルギー e の関数としてその透過率 $T(e)$ を求めてメモリ 68 に記憶する。次に、ステップ 147～150 において、照射をしない場合の投影光学系 PL の透過率の変化を計測して経過時間の関数で表す。

【0057】具体的に、ステップ 146 で投影光学系 PL に例えば想定される最大の露光量に所定のマージンを加えた露光量が照射された状態で、ArF エキシマレーザ光源 1 の発光を停止する。その後、ステップ 147 で発光停止からの経過時間 t を計測し、所定の時間間隔でステップ 148 において、図 2 の ArF エキシマレーザ光源 1 に瞬間的に最小パルス数の発光を行わせて、直接透過率計算部 63 において、透過エネルギー E_o 及び入射エネルギー E_i より投影光学系 PL の透過率 $T(=E_o/E_i)$ を算出し、この透過率 T を透過率演算部 67 に供給する。この透過率の計測を所定回数繰り返し、計測が終了したときに動作はステップ 149 からステップ 150 に移行して、透過率演算部 67 では、投影光学系 PL の透過率 T を紫外パルス光 IL の発光停止からの経過時間 t の関数 $T(t)$ として近似し、この関数 $T(t)$ をメモリ 68 に記憶する。その関数 $T(t)$ としては、予め係数を未定とした経過時間 t の 2 次以上の関数、又は指数関数等を使用できる。

【0058】図6の曲線70Cは、紫外パルス光ILの照射停止後の投影光学系PLの透過率 $T (=E_o/E_i)$ の変化の一例を示し、この図6の横軸は照射停止からの経過時間 t (hour)で、縦軸は透過率 T (相対値)である。また、曲線70Aは、透過率計測用に瞬間的に供給される入射エネルギー E_i (相対値)を示し、曲線70Bは、その入射エネルギー E_i に対応して計測される透過エネルギー E_o (相対値)を示している。その曲線70Cより分かるように、紫外パルス光ILの照射停止後には、投影光学系PLの透過率 T は一度大きく回復した後、次第に低下している。メモリ68には、その曲線70Cを近似した経過時間 t の関数 $T(t)$ が記憶される。

【0059】その後の走査露光時には、図1の主制御系27から図2の透過率演算部67に対して紫外パルス光ILの照射中か、又は例えばショット間のステッピング中で紫外パルス光ILの照射が中断されているかを示す情報が供給される。又は、透過率演算部67では、ADC62からの入射エネルギー E_i の有無によって照射中かどうかを判定してもよい。このようにして、図5のステップ151において、透過率演算部67では、紫外パルス光ILが照射中かどうかを判定し、照射中であるときには、ステップ152において、所定の時間間隔で入射光量積分部64からの入射総エネルギー e を取り込み、ステップ153において、この入射総エネルギー e 、及びステップ144でメモリ68に記憶された関数 $T(e)$ より投影光学系PLの現在の透過率 $T(now)$ を求める。そして、以下のステップ154で図3のステップ110と同様にその透過率 $T(now)$ の変化を相殺するように紫外パルス光ILの出力を制御し、以下ステップ155で走査露光が終了するまで、ステップ152～154の動作が繰り返される。

【0060】その後、ステップ155で走査露光が終了し、ステップ159で1つのショット領域への露光が終了すると、ステップ160で全部のショット領域への露光が終了したかどうか判定され、露光が終了していないときには、ステップ151に戻る。この場合には、ウエハステージ24が次のショット領域を走査開始位置に移動するためにステッピング中であり、紫外パルス光ILの照射は中断しているため、動作はステップ151からステップ156に移行して、透過率演算部67は先ずその時点で入射光量積分部64から供給されている入射総エネルギー e 、及びステップ145で記憶された関数 $T(e)$ より、現在の投影光学系PLの透過率 T_A を計算する。そして、次のショット領域への走査露光が始まる直前にステップ157において、透過率演算部67は、紫外パルス光ILの照射中断からこれまでの経過時間 t 、及びステップ150で記憶された関数 $T(t)$ より現在の投影光学系PLの透過率 T_B を算出する。この場合、経過時間 t が0での透過率 $T(0)$ の値を T_C と

すると、ステップ158において、透過率演算部67では、一例として次式より現在の投影光学系PLの実際の透過率 $T(now)$ を算出する。

【0061】

$$T(now) = T_A \cdot T_B / T_C \quad (5)$$

そして、次のショット領域への走査露光が開始されて動作がステップ151からステップ152に移行したときには、投影光学系PLの透過率の初期値を(5)式で定める値として、露光量制御を行う。このようにして各ショット領域への走査露光が行われ、ステップ160で全部のショット領域への露光が終了したときにステップ161で露光動作が終了する。

【0062】このように本例によれば、ショット間で紫外パルス光ILの照射が中断されている際の投影光学系PLの透過率の変動も考慮されるため、より高精度にウエハW上の各ショット領域への露光量が制御される。次に、図5の走査露光を実際にウエハW上に回路パターンを形成する工程で用いる場合の動作の一例につき、図7のフローチャートを参照して説明する。先ず、図7のステップ171において、図1のレチクルステージ20A上にレチクルRがロードされる。次のステップ172において、露光対象のウエハ(ウエハWとする)上に金属膜を蒸着し、ステップ173において、そのウエハW上の金属膜上にレジストを塗布した後、ウエハWを図1の投影露光装置のウエハステージ24上にロードする。次に、ステップ174において、図5のステップ151～161までの動作と同様に、投影光学系PLの透過率の変化を相殺するように、即ちウエハW上での紫外パルス光ILの照度が一定となるように紫外パルス光ILの光量を制御しながら、レチクルRのパターン像を走査露光方式でウエハW上の各ショット領域に露光する。

【0063】その後、ステップ175において、ウエハW上のレジストの現像を行い、ステップ176でそのレジストパターンをマスクとしてウエハW上の金属膜のエッチングを行った後、レジストパターンを除去することによって、所望の回路パターンがウエハW上の各ショット領域に形成される。その後、ウエハWは次のレイヤの回路パターンの形成工程に移行する。この際に本例では、ウエハW上の各ショット領域で最適な露光量が得られているため、ウエハW上の各ショット領域に所望の回路パターンが高い転写忠実度で形成される。

【0064】なお、上記の実施の形態は、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステッパー)で露光する場合にも適用することができる。ステッパーの場合には、例えば図3のステップ110及び111に対応する工程で、ウエハ上の当該ショット領域への積算露光量が所定の値になるように露光時間が制御される。

【0065】なお、本発明は上述の実施の形態に限定さ

れず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0066】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、露光エネルギービームの照射開始からの投影光学系の透過率変化が照射量に応じてほぼ一定の変化量を示すことを利用して、予めこの透過率変化を計測して記憶している。そして、実際の露光時には投影光学系に入射する露光エネルギービーム量から投影光学系の透過率の変化を推定し、この透過率の変化に応じて露光量を制御しているため、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止できる利点がある。

【0067】また、露光中の基板上での露光量を計測するような新規のセンサーを追加する必要がなく、基板側のステージ付近のスペースの制約を受けることがない。この場合、透過率特性記憶部は、投影光学系の透過率の総入射エネルギー量に対する変化率の他に、露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対する投影光学系の透過率の変化率を記憶し、演算系は、透過率特性記憶部に記憶されている透過率の2種類の変化率、入射エネルギー量積算系の出力、及び露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次投影光学系の透過率を算出するときには、露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の透過率が十分に回復しない場合でも、その投影光学系の透過率の変化を正確に推定できる。

【0068】また、本発明をステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光方式の投影露光装置に適用した場合、走査露光方式では、投影光学系の透過率変動に応じて例えば基板上で一定の照度が得られるように露光量を制御することで、良好な露光量制御精度が得られる。次に、本発明の露光方法によれば、走査露光方式の投影露光装置を用いて、投影光学系の透過率の変化の計測時に実際にマスクを使用した状態での透過率を計測することによって、マスクのパターン密度の違いによる入射エネルギー量の変動によって投影光学系の透過率変化を誤計測することが防止され、露光量制御精度を向上させることができる。

【0069】また、本発明の回路デバイスの製造方法によれば、本発明の投影露光装置を用いて高い転写忠実度

で回路パターンを基板上に形成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態で使用される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】本発明の実施の形態で投影光学系 P L の透過率の計測を行うために、照射量モニタ 3 2 を投影光学系 P L の露光領域に移動した状態を示す一部機能ブロック図を含む構成図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第2の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第3の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

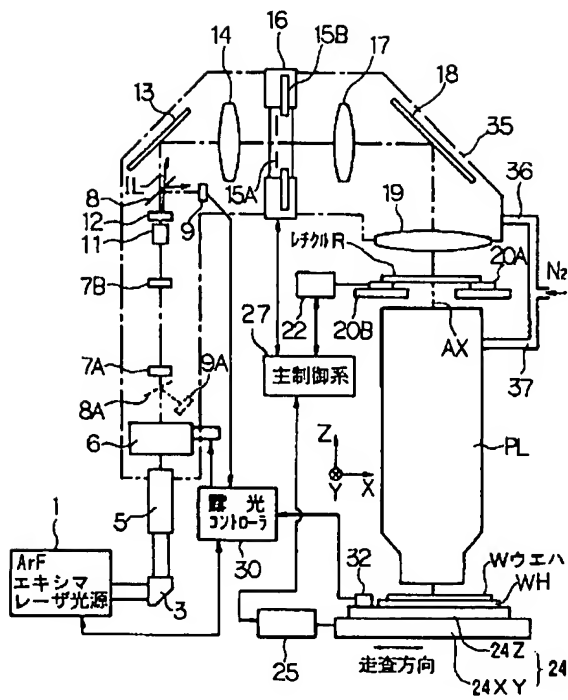
【図6】その第3の実施の形態で計測される紫外パルス光の照射停止以後の投影光学系 P L の透過率の変化の一例を示す図である。

【図7】その第3の実施の形態において回路パターンを形成する工程の一例を示すフローチャートである。

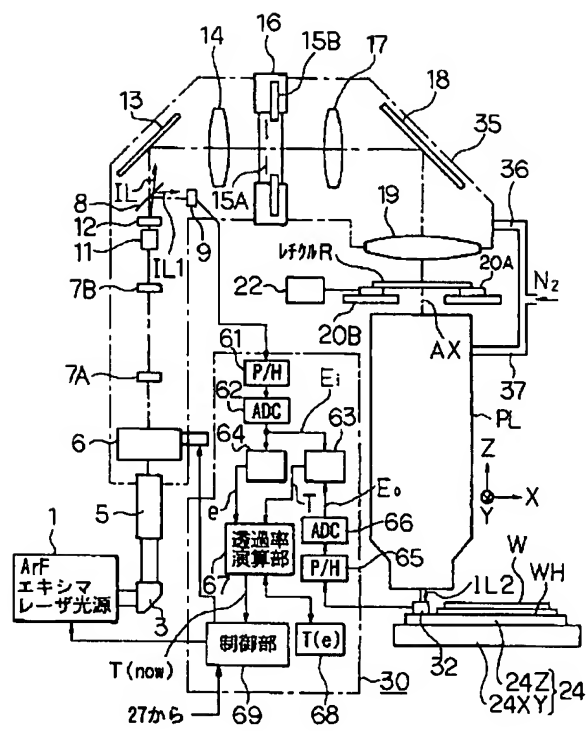
【符号の説明】

- 1 A r F エキシマレーザ光源
- 1 1 フライアイレンズ
- 8 ビームスプリッタ
- 9 インテグレートセンサ
- 1 6 レチクルブラインド機構
- R レチクル
- P L 投影光学系
- W ウエハ
- 2 0 A レチクルステージ
- 2 4 ウエハステージ
- 2 7 主制御系
- 3 0 露光制御ユニット
- 3 2 照射量モニタ
- 6 3 直接透過率計算部
- 6 4 入射光量積分部
- 6 7 透過率演算部
- 6 8 メモリ
- 6 9 制御部

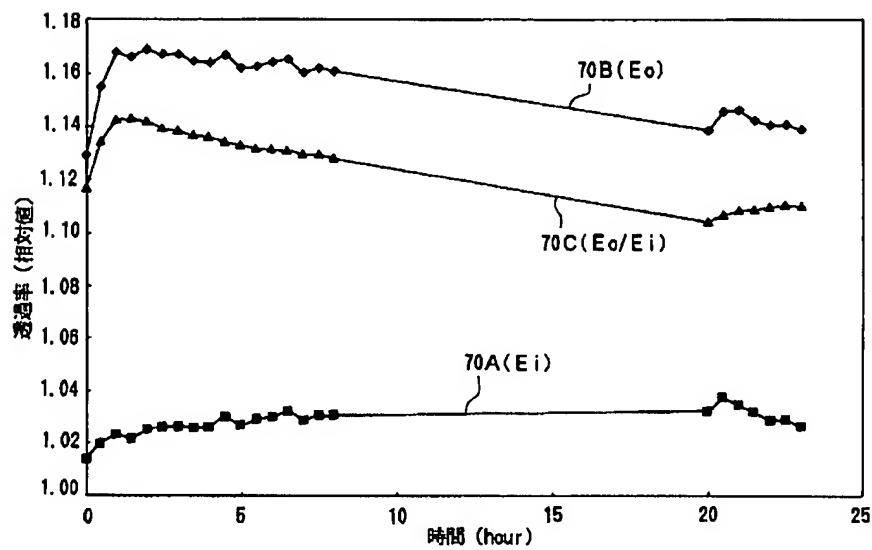
【図1】



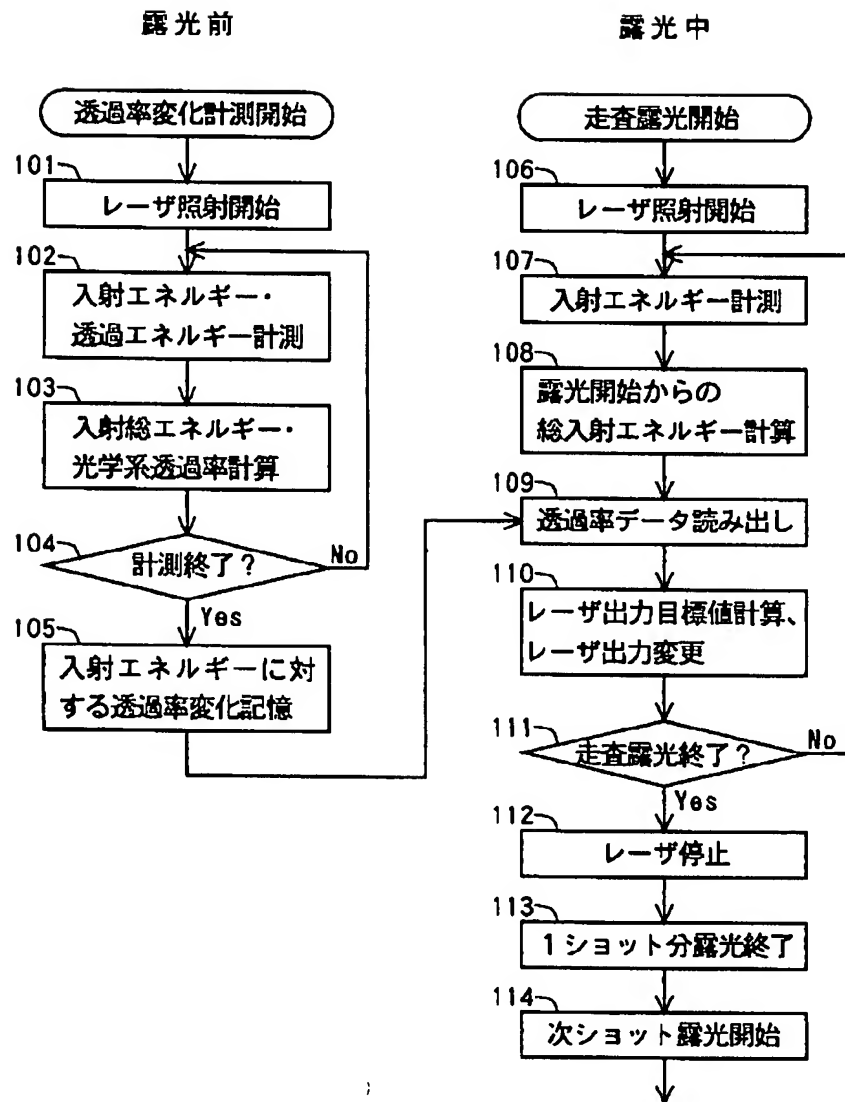
【図2】



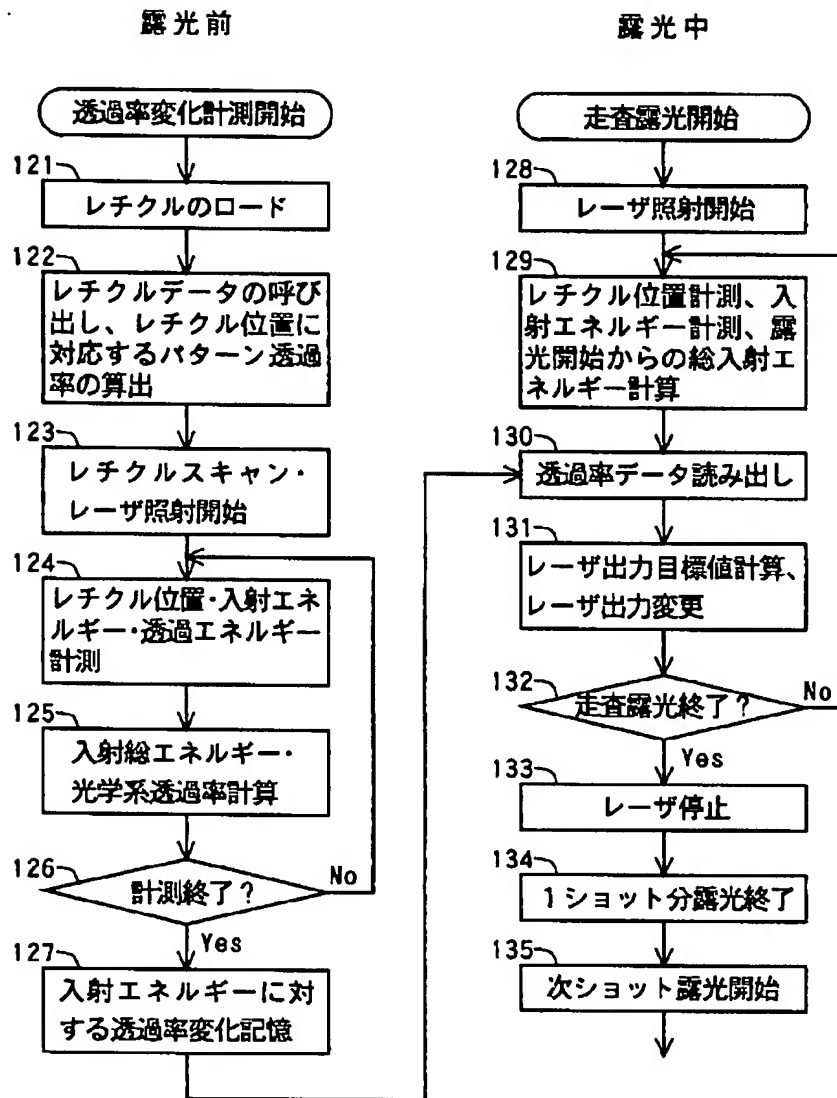
【図6】



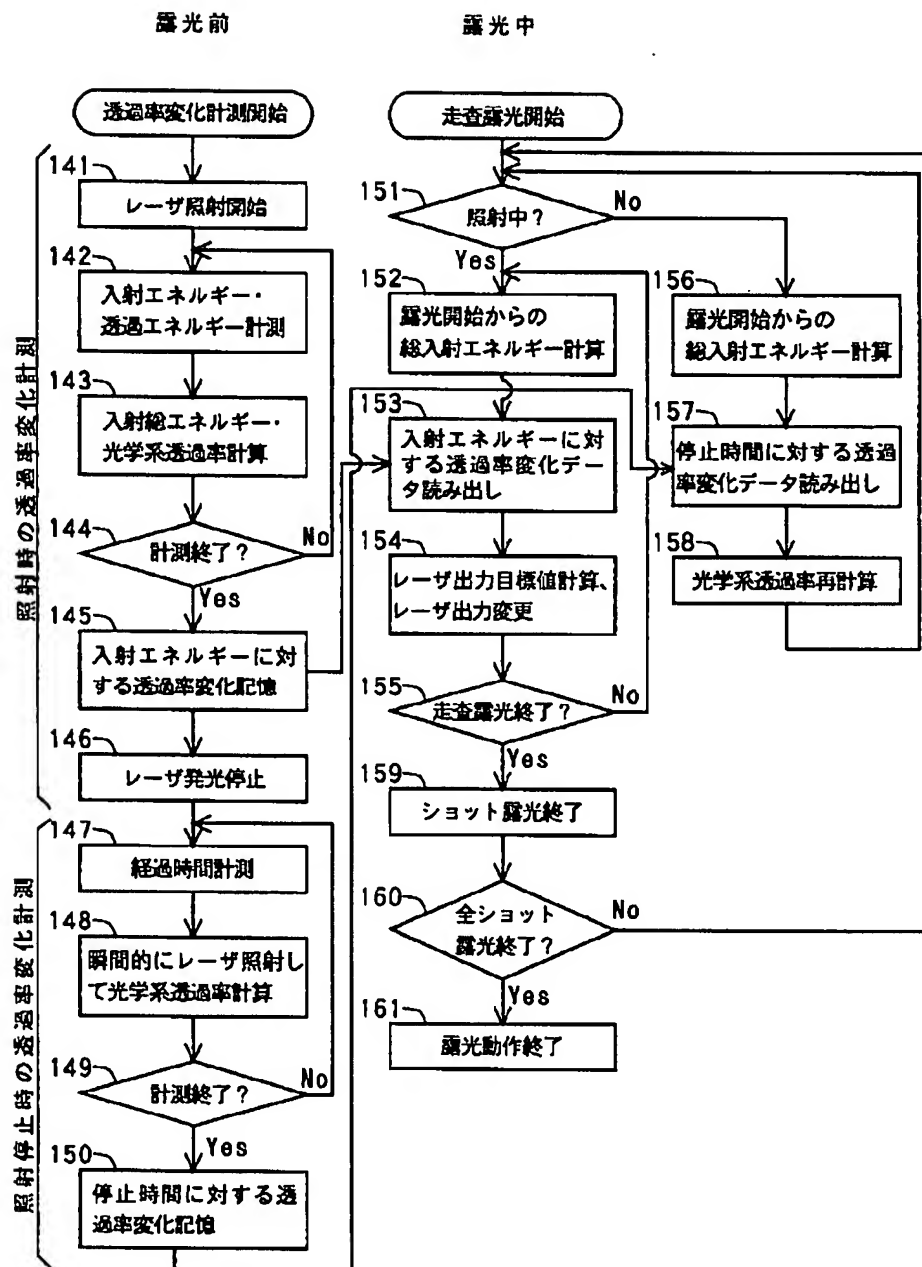
【図3】



【図4】



【図5】



【図7】

